

УДК 621.43.016

**ТРИНЁВ А.В.**, к.т.н. доц., НТУ «ХПИ»  
**ОБОЗНЫЙ С.В.**, инж., НТУ «ХПИ»  
**КАЛАНТАЙ В.И.**, студ., НТУ «ХПИ»

## **ВОЗМОЖНОСТИ ОПТИМИЗАЦИИ КОНСТРУКЦИИ ГИЛЬЗЫ ЦИЛИНДРА БЫСТРОХОДНОГО АВТОТРАКТОРНОГО ДИЗЕЛЯ**

Проблеми підвищення паливної економічності, надійності та довговічності пропонується вирішувати за рахунок узгодження теплового стану деталей камери згоряння (КЗ), зокрема гільзи циліндра, з тепловими процесами двигуна та використання локального охолодження гільзи.

**Введение.** Значительное влияние на работоспособность деталей цилиндро-поршневой группы (ЦПГ) оказывает гильза цилиндра, ограничивающая рабочий объем цилиндра с поршнем и головкой цилиндров. От работы пары гильза – поршневые кольца во многом зависит износ втулки. На характер изнашивания втулки, скорость изнашивания влияют многие факторы. Среди них можно выделить главные: температуру зеркала втулки в сочетании с применяемым моторным маслом, степень деформации втулки по её окружности в зависимости от нагрева.

Удовлетворительные характеристики изнашивания гильз цилиндров достигаются за счет наличия стабильной масляной пленки между гильзой цилиндров и поршневыми кольцами. С ростом уровня форсирования автотракторных дизелей повышаются температуры зеркала гильзы и удельное давление поршневых колец. Поэтому необходимо уделять особое внимание сохранению на зеркале устойчивой масляной плёнки, поддержанию вязкости моторного масла в оптимальных пределах. В известных конструкциях малооборотных и среднеоборотных дизелей поставленная проблема является малоизученной, интенсификация охлаждения опорного бурта гильз таких ДВС с использованием жидкого охладителя представляет собой практически неразрешимую конструктивную задачу, что связано со сравнительно малыми размерами гильз, плотным размещением гильз в блоке, чем достигаются высокие массогабаритные показатели современных автотракторных ДВС. Решением поставленной проблемы, на наш взгляд, может стать локальное охлаждение опорного бурта сжатым воздухом.

**Анализ последних достижений и публикаций.** Как показали проведенные ранее теоретические и экспериментальные исследования, за счет поддержания определенного температурного состояния гильзы по её высоте, что в свою очередь влияет на вязкость моторного масла и потери на трение в сопряжении кольца - гильза, можно снизить механические потери по дизелю, улучшить также индикаторные показатели за счет уменьшения теплоотвода в систему охлаждения через стенку гильзы. Результаты таких исследований, например, можно найти в работах проф. Третьяка Е.И. [1-3], проведенных на одноцилиндровом отсеке судового дизеля 6ЧН26/34 на кафедре ДВС ХПИ. Ставилась задача нахождения оптимальных конструктивных соотношений для охлаждаемой гильзы цилиндра. Расчётным путём была минимизирована высота охлаждаемого пояса гильзы при ограничении температуры в зоне первого компрессионного кольца при положении поршня в ВМТ значением 160°C. Как отмечалось в работе [1], такое ограничение по температуре обусловлено требованиями работоспособности, надежности и долговечности гильзы.

Была рассчитана минимальная высота охлаждаемого пояса, которая составила 0,18S(60 мм), был предложен конструктивный вариант узла цилиндра с укороченным охлаждаемым поясом, проведен эксперимент для проверки его работоспособности. В эксперименте были определены: абсолютные значения температур в характерных точках гильзы; профиль температур по образующей гильзы; плотность тепловых потоков вдоль образующей. Эксперимент подтвердил работоспособность опытного узла гильзы, улучшение индикаторного и механического КПД, что выразилось в целом в уменьшении удельного эффективного расхода топлива на 1,8 – 4,2 г/(кВт·час)[1].

В работе [2] были обоснованы возможные пути оптимизации и выравнивания температуры гильзы по высоте, а именно: подогрев нижнего пояса гильзы цилиндров выпускными газами или воздухом после компрессора, введение высокотемпературного охлаждения, уменьшение поверхности охлаждения по высоте гильз, интенсификация охлаждения опорного бурта для снижения температуры в этой зоне от 200-220°C до рациональных 160°C.

В работе [3] были проанализированы конструктивные мероприятия, снижающие тепловые потери в охлаждающую жидкость: органосиликатные покрытия теплопередающих поверхностей, теплозащита тепловоспринимающих поверхностей с помощью керамических материалов, локальное охлаждение, использование тепловой защиты нижнего (переохлажденного) пояса в виде воздушной кольцевой прослойки толщиной 1,5-2мм. Таким образом, проведенные исследования доказали возможность выравнивания температуры гильзы по её высоте до рациональных значений, при которых вязкость моторного масла становится оптимальной, снижаются механические потери и уменьшаются потери теплоты в систему охлаждения.

Детальный анализ теплонапряженного состояния (ТНС) гильзы цилиндра быстроходного автотракторного дизеля 4ЧН12/14 приведен в работе [4]. Для исследования ТНС была разработана на основе МКЭ нестационарная математическая модель гильзы цилиндров, для уточнения граничных условий задач теплопроводности и механики проведен моторный эксперимент, включающий термометрию гильзы(16 термопар) и оценку деформированного состояния (16 тензодатчиков). Моторный эксперимент показал существенную неравномерность температур по высоте гильзы от 230-250°C в зоне опорного бурта до 100-115°C в охлаждаемой зоне. При этом максимальные температурные деформации изменялись от 0,058мм в верхней части до 0,017мм в нижней части гильзы, что необходимо учитывать при выборе рабочих зазоров между поршнем и гильзой [4].

**Цель и постановка задачи.** Целью исследования является улучшение технико-экономических показателей форсированных быстроходных дизелей автотракторного типа за счет получения оптимального температурного профиля по высоте гильзы, снижения механических и тепловых потерь.

Для достижения поставленной цели на начальном этапе предполагалось решить следующие задачи:

- оценить возможности локального воздушного охлаждения опорного бурта гильзы автотракторного дизеля с точки зрения его эффективности и энергетических затрат;
- разработать конструкцию безмоторного стенда для исследования условий локального охлаждения гильзы;
- уточнить граничные условия (ГУ) задачи теплопроводности для математической модели ТНС гильзы цилиндров с локальным охлаждением опорного бурта;

- исследовать характер протекания переходных процессов от момента подачи охладителя – воздуха до момента стабилизации теплового состояния гильзы, оценить влияние на протекание процессов режимных факторов (давление, температура охладителя).

**Исследование условий локального воздушного охлаждения гильзы цилиндра в безмоторном эксперименте.** На кафедре ДВС НТУ «ХПИ» накоплен значительный опыт в проведении безмоторных экспериментов для исследования ТНС деталей ДВС [5-7], безмоторные стенды также успешно используются при решении практических задач ведущими зарубежными мотостроительными компаниями, например, такими как Caterpillar [6].

Исследуется температурное поле гильзы цилиндров дизеля 4ЧН12/14 с локальным воздушным охлаждением верхнего опорного бурта. Для образования полости охлаждения на верхнем посадочном поясе после его дообработки напрессован чугунный бандаж с внутренней проточкой и подводящим штуцером. Общий вид гильзы с охлаждаемым опорным буртом представлен на рис. 1. Гильза оснащена пятью хромель-алюмелевыми термопарами, равномерно размещенными по её высоте.

Моделирование теплового состояния гильзы с локальным охлаждением опорного бурта проводится на стенде, схема которого показана на рис.2. Стенд содержит опытную гильзу 1 с термопарами 2, плавильную электропечь 3 открытого типа, трансформатор 4 с регулируемым напряжением на выходе от 0 до 250 В, переключатель 5, цифровой прибор 6 для регистрации температур в контрольных точках гильзы, расходомер охлаждающего воздуха 7. Цифровой прибор 8 типа А566 используется для контроля температур охлаждающего воздуха на входе в гильзу и на выходе из нее по сигналу от термометра сопротивления. Давление охлаждающего воздуха непосредственно на входе в гильзу контролируется пружинным манометром 9.

Поршневой компрессор с электроприводом создает и поддерживает в ходе эксперимента заданное давление в ресивере 11.

Гильза цилиндров своим опорным буртом установлена на плавильную печь, между печью и гильзой уложена асбестовая прокладка. Путём регулирования напряжения трансформатора 4 подбирается режим нагрева, при котором достигается и поддерживается необходимая температура нагрева опорного бурта гильзы, соответствующая номинальному режиму работы дизеля (250 - 260°C) 4ЧН12/14, используются результаты термометрии гильз в моторных экспериментах. После этого включается подача охлаждающего воздуха и выполняются замеры. Такой безмоторный стенд и такая методика успешно использовалась ранее при моделировании теплового состояния головки цилиндров дизеля СМД [6] и



Рисунок 1 - Гильза цилиндра с охлаждаемым буртом



Параметры охлаждающего воздуха на режиме с  $P_v=0,1$  МПа составили: расход воздуха  $G_v=6,0$  м<sup>3</sup>/час; температура воздуха на входе в гильзу  $t_{в1}=18^\circ\text{C}$ ; температура воздуха на выходе из гильзы  $t_{в2}=75^\circ\text{C}$ . Для режима с  $P_v=0,2$  МПа:  $G_v=6,9$  м<sup>3</sup>/час;  $t_{в1}=18,5^\circ\text{C}$ ;  $t_{в2}=65^\circ\text{C}$ .

По результатам безмоторного эксперимента были построены динамические температурные характеристики в зависимости от продолжительности охлаждения  $t$ , мин. в переходных процессах, представленные на рис.4. Приведены характеристики для контрольных точек 1-3.

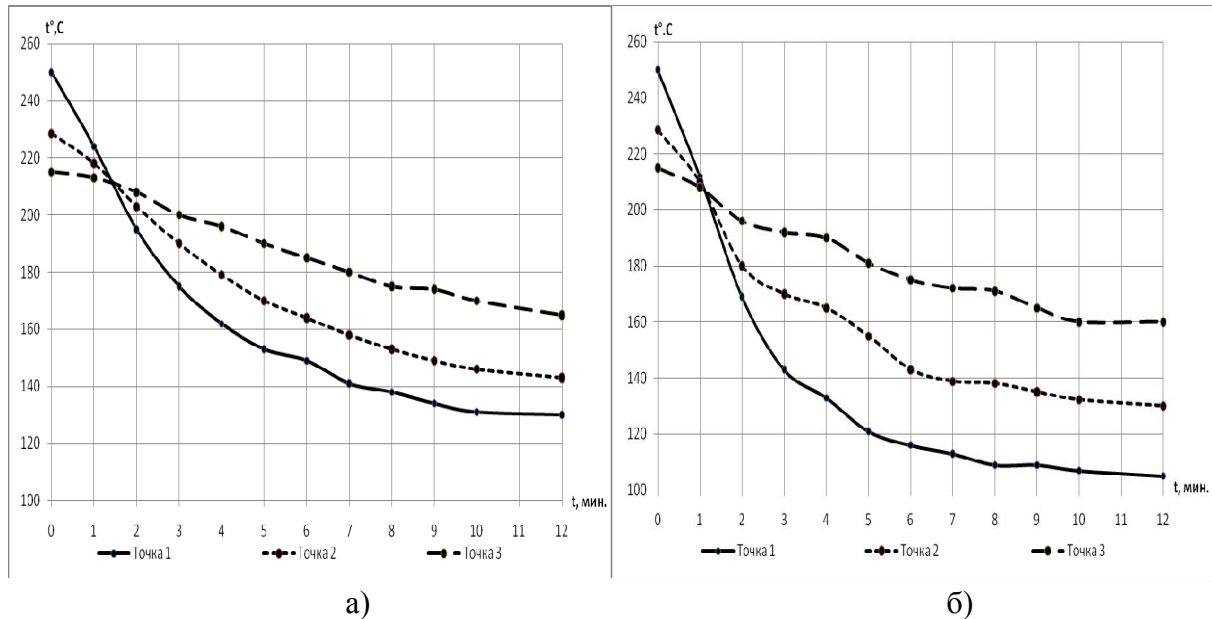


Рисунок 4 – Динамика изменения температуры в контрольных точках гильзы при подводе охладителя: а)  $P_v=0,1$  МПа; б)  $P_v=0,2$  МПа

Для уточнения ГУ задачи теплопроводности для охлаждаемых воздухом поверхностей опорного бурта гильзы была разработана МКЭ-модель гильзы, в расчетах воспроизводились условия нагрева гильзы в безмоторном эксперименте. По результатам безмоторного эксперимента и путем решения серии тестовых задач были уточнены ГУ 3-го рода для указанных поверхностей. Так значение коэффициента теплоотдачи составило для рассмотренных режимов  $\alpha=500-700$  Вт/(м<sup>2</sup>К) при результирующих температурах  $t_{рез}=40...70^\circ\text{C}$ .

Проводилась оценка возможных дополнительных энергетических затрат по двигателю в пересчете на  $z=4$  цилиндра. Для варианта применения в качестве источника сжатого воздуха приводного поршневого компрессора, который используется в тормозных системах автотракторных ДВС, затраты могут составить от 0,425 до 1,6 кВт.

## Выводы

В результате проведенного расчетно-экспериментального исследования можно отметить:

- эксперимент показал высокую эффективность локального воздушного охлаждения зоны опорного бурта гильзы цилиндров автотракторного дизеля с учетом необходимых энергетических затрат, снижение температуры наиболее нагретой части гильзы составило 100-120°C, что позволяет изменять в дальнейшем температуру этого участка в широких пределах для получения оптимальной температуры стенки гильзы и оптимальной вязкости моторного масла по её длине;
- получены уточненные ГУ задачи теплопроводности для локального охлаждения гильзы цилиндров, что позволяет разработать уточненную математическую модель ТНС гильзы, а также решить оптимизационную задачу, используя факторы как интенсификации, так и ограничения теплоотвода по высоте гильзы, обеспечить наиболее рациональный температурный профиль для снижения механических и тепловых потерь;
- разработанный безмоторный стенд позволяет достаточно точно исследовать влияние различных факторов (охлаждение, теплоизоляция) на тепловое состояние гильзы, разработать практические рекомендации по улучшению экономических и ресурсных показателей форсированных автотракторных ДВС.

**Список литературы:** 1. Экспериментальное исследование эффективности ограниченного теплоотвода гильз цилиндра дизеля 6ЧН26/34 / *Е.И. Третьак, Б.Л. Гоцкало, А.А. Науменко, А.Г. Соколов* // Двигатели внутреннего сгорания. 1989. Вып. 52 с.78-85. 2. Определение пределов регулирования теплового состояния гильзы цилиндров судового дизеля 6ЧН26/34 при ограниченном теплоотводе / *Е.И. Третьак, Б.Л. Гоцкало, К.Н. Васильев и др.* // Двигатели внутреннего сгорания. 1989. Вып. 49 с.28-30. 3. Оценка возможности улучшения топливной экономичности судового дизеля 6ЧН26/34 при тепловой защите гильзы цилиндра / *Е.И. Третьак, Б.Л. Гоцкало, О.С. Кинжалов и др.* // Двигатели внутреннего сгорания. 1987. Вып. 45 с.33-39. 4. Тепловое и напряженно-деформированное состояние гильзы цилиндра быстроходного дизеля при нестационарных нагрузках / *А.Ф. Шеховцов, П.П. Гонтаровский, Ф.И. Абрамчук, А.М. Левтеров* // Двигатели внутреннего сгорания. 1993. Вып. 54 с.9-22. 5. Современные дизели: повышение топливной экономичности и длительной прочности / *Ф.И. Абрамчук, А.П. Марченко, Н.Ф. Разлейцев и др. под общ. ред. А.Ф. Шеховцова* // -К.: Техніка, 1992. – 272с. 6. Исследование условий локального воздушного охлаждения огневого днища головки цилиндров и использованием безмоторного стенда / *А.В. Тринёв, А.Н. Авраменко, С.В. Обозный и др.* // Двигатели внутреннего сгорания. 2007. №1 с.31-38. 7. Оценка эффективности локального охлаждения головки цилиндров дизеля КаМАЗ в безмоторном эксперименте / *А.В. Тринёв, В.Т. Коваленко, С.В. Обозный и др.* // Двигатели внутреннего сгорания. 2011. №2 с.19-24